

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 1月19日

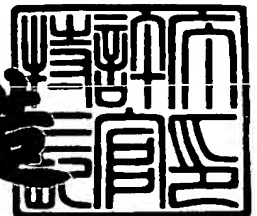
出 願 番 号
Application Number: 特願2001-012126

出 願 人
Applicant(s): 富士通株式会社

2001年 3月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3013990

【書類名】 特許願

【整理番号】 0040980

【提出日】 平成13年 1月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/06

【発明の名称】 分布帰還型半導体レーザとその製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 小林 宏彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 小路 元

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 石川 務

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100091340

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 敬四郎

【電話番号】 03-3832-8095

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000- 76908

【出願日】 平成12年 3月17日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009852

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705794

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分布帰還型半導体レーザとその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下部バリア層と、前記下部バリア層より狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とが交互に積層され、共振器方向に延在する下部量子井戸構造と；

前記下部量子井戸構造上に配置され、前記下部ウェル層よりも広いバンドギャップと前記下部バリア層よりも厚い厚さを有する中間層と；

前記中間層の上に前記共振器方向に沿って周期的に配置され、上部ウェル層と、前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する上部バリア層とが交互に積層された上部量子井戸構造とを有する分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 2】 さらに、前記共振器方向に沿って前記上部量子井戸構造を覆って前記中間層上に配置され、前記下部および上部ウェル層より広いバンドギャップを有する回折格子埋め込み層を有する請求項 1 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 3】 前記中間層は、前記上部量子井戸構造と同一周期、同一位相の表面段差を有する請求項 2 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 4】 前記回折格子埋め込み層は、前記中間層よりも高くない屈折率を有する請求項 2 または 3 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 5】 前記中間層と前記回折格子埋め込み層とがほぼ同一の屈折率を有する請求項 4 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 6】 (a) 半導体基板上に、下部バリア層と前記下部バリア層よりも狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とを交互に成長して下部量子井戸構造を形成する工程と；

(b) 最上の下部ウェル層の上に、下部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する中間層を下部バリア層より厚く成長する工程と；

(c) 前記中間層の上に上部ウェル層と前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有し、前記中間層よりも薄い厚さを有する上部バリア層とを交互に成長

して上部量子井戸構造を形成する工程と；

(d) 前記上部量子井戸構造の上に周期的パターンを有する第 1 マスクを形成する工程と；

(e) 前記第 1 マスクをエッチングマスクとして用い、前記中間層をエッチングマージン層として前記上部量子井戸構造を周期的形状にエッチングする工程と；

(f) 前記第 1 マスクを除去する工程と
を含む分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】 さらに、(g) 前記工程 (f) の後、エッチングされた上部量子井戸構造を覆うように、中間層上に前記上部および下部ウェル層より広いバンドギャップを有する回折格子埋め込み層を成長する工程；
を含む請求項 6 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】 さらに、(h) 前記工程 (g) の後、前記回折格子埋め込み層上にクラッド層を成長する工程；
を含む請求項 7 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【請求項 9】 さらに、(i) 前記回折格子埋め込み層上方に前記周期的パターンを横断する方向に延在するストライプ形状の第 2 マスクを形成する工程と；

(j) 前記第 2 マスクから露出された前記回折格子埋め込み層、前記上部量子井戸構造、前記中間層、前記下部量子井戸構造をエッチングしてストライプ構造を形成する工程と；

(k) 前記第 2 マスクを除去する工程と
を含む請求項 7 または 8 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【請求項 10】 前記周期的パターンを有する第 1 マスクはホトレジスト層を 2 光束干渉露光、現像によって形成し、前記工程 (e) はリアクティブイオンエッチングで行なう請求項 6 ～ 9 のいずれかに記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザおよびその製造方法に関し、特に発振波長を規定するために回折格子を内蔵した分布帰還型半導体レーザおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

長距離大容量伝送を要求される幹線系光通信システムにおいては、単一波長性に優れた光源が要求される。光ファイバの構成材料は、波長によって屈折率、従って光の伝播速度が異なる波長分散を有することを避け難い。通信波長帯域において波長分散が存在すると、パルス光の進行と共にパルス波形は劣化してしまう。レーザ光の単色性を高くすることにより、波長分散の影響を受け難くし、優れた伝送特性を実現することができる。

【0003】

分布帰還型半導体レーザ（DFBレーザ）は、レーザ構造内に設けられた回折格子によって発振波長を規制する。このため、単一波長性に優れている。以下、DFBレーザの代表的構成を図面を参照して説明する。

【0004】

図5（A）、（B）は、屈折率結合型DFBレーザの構成を概略的に示す。n型半導体基板51の表面上に、周期的段差構造を有する相対的に低屈折率のn型クラッド層52が形成される。n型クラッド層52の上に、周期的段差を埋め込む形状の相対的に高屈折率のn側ガイド層53が形成されている。屈折率の異なるクラッド層52とガイド層53により回折格子が形成される。

【0005】

n型ガイド層53の上に、相対的に低屈折率の層54を挟んで量子井戸活性層55が配置される。活性層55は、相対的に長波長組成、高屈折率のウェル層Wと相対的に短波長組成、低屈折率のバリア層Bとの交互積層で構成されている。活性層55の上には、相対的に低屈折率のp型ガイド層56が配置される。p型ガイド層56までの積層は、ストライプ状のメサ形状に成形されている。

【0006】

図 5 (B) は、n 側クラッド層 5 2、n 側ガイド層 5 3 周辺の構造をより詳細に示す。n 側ガイド層 5 3 は、n 側クラッド層 5 2 よりも高い屈折率を有する。従って、クラッド層 5 2、ガイド層 5 3 の周期的段差構造は、屈折率的に周期構造を形成する。

【 0 0 0 7 】

ウェル層 W、バリア層 B の交互積層から形成される量子井戸活性層 5 5 は、光を増幅する活性層であるが、光の分布は活性層 5 5 を越えてその上下にも及ぶ。活性層 5 5 の下部に延在する光成分は、クラッド層 5 2、ガイド層 5 3 の作る屈折率周期構造の影響を受ける。すなわち、ガイド層 5 3、クラッド層 5 2 の周期構造が、回折格子として働く。

【 0 0 0 8 】

図 5 (A) に戻って、ストライプ状メサ周辺部を埋め込むように、p 型埋め込み層 6 1、n 型埋め込み層 6 2 が形成されている。これらのメサ構造と埋め込み層は、p 型ガイド層 5 6 上に SiO_2 等のストライプ状ハードマスクを形成し、メサエッチングを行なった後、半導体表面が露出した領域上に選択成長をさせることにより形成することができる。その後ハードマスクは除去する。

【 0 0 0 9 】

p 型ガイド層 5 6、n 型埋め込み層 6 2 の上に、p 型クラッド層 6 3、 p^+ 型コンタクト層 6 4 が形成される。 p^+ 型コンタクト層 6 4 のストライプ状領域を挟んだ両側領域上に SiO_2 等の絶縁層 6 5 が形成される。コンタクト層 6 4、絶縁層 6 5 の上に p 側電極 2 0 が形成される。絶縁層 6 5 の存在しないストライプ領域で p 側電極 2 0 がコンタクト層 6 4 と接触し、選択的に電流を注入する。電流分布は、埋め込み層 6 1、6 2 によっても狭窄を受け、メサ領域に集中する。なお、基板裏面上には n 側電極 1 9 が形成される。

【 0 0 1 0 】

この DFB レーザは、回折格子の周期で決まるブラッグ波長に近い波長で発振し、レーザ光の単色性が高い。

【 0 0 1 1 】

図 5 (B) に示すような回折格子は、n 型ガイド層 5 3 が厚くなった部分と薄

くなった部分とを有する。そのどちらが定在波の腹に相当するかにより、2つの縦モードが発生する。すなわち、図5（A）、（B）に示すDFBレーザは、正確にブラッグ波長で発振するのではなく、その長波側と短波側のどちらかが確率的に選択されて発振するか、または2つのモードが同時に発振する。

【0012】

回折格子の中央部分に $1/4$ 波長の位相シフトを設けることにより、発振モードを制限する構造が提案されている（ $\lambda/4$ シフト構造）。このレーザ素子をブラッグ波長で安定に発振させるには、端面からの反射光の影響を回避する必要がある。端面からの反射光が回折格子領域に及ぶと、回折格子の位相と反射光の位相との間に干渉が生じてしまう。

【0013】

反射光を除去するためには、両端面に無反射（反射防止）膜を形成することが必要となる。両端面に無反射膜を形成すると、出射光は両端面からほぼ同等に発生し、1端面からの出射光を利用する発光装置の光の利用率が約半分になってしまう。また、素子外部から光が戻ると、発振スペクトルが不安定になる問題も生じ得る。

【0014】

屈折率結合DFBレーザよりも、発振スペクトルの安定性の高いレーザとして、利得結合DFBレーザ（複素結合DFBレーザ）が提案されている。

【0015】

図6（A）は、利得結合DFBレーザの活性層の構成を概略的に示す。n型クラッド層72の上に、バリア層73（B）、ウェル層74（W）が交互に積層され、多重量子井戸構造75（最上層および最下層はバリア層73）を形成している。

【0016】

多重量子井戸構造75の表面側から途中の深さまで、バリア層73（B）、ウェル層74（W）が周期的に除去されている。図の構成においては、上から第4層目のバリア層73（B）の中央部までが除去されている。この周期構造を覆って、p型ガイド層76が形成されている。p型ガイド層76の上には、p型クラ

ッド層 7 7 が配置される。

【 0 0 1 7 】

このように、利得結合 D F B レーザにおいては、多重量子井戸構造そのものが周期的に除去され、回折格子を形成している。回折格子を構成しているウェル層 7 4 (W) には、横方向からもキャリアが注入されるため、電流注入による利得が共振器方向で周期的に変化し、大きな利得結合係数が得られる構造となる。

【 0 0 1 8 】

利得結合 D F B レーザでは、共振器方向に発生する光定在波の振幅の大きい場所の位置（腹の位置）が利得の大きい場所にほぼ固定される。このため、外部戻り光の影響を受け難く、発振スペクトルが安定になる。端面反射光の位相の影響も受け難いため、出射端面である前端面のみに無反射膜を形成し、後端面には高反射膜を形成した非対称共振器構造としてもスペクトルの乱れは小さい。このため、高出力動作が可能となる。

【 0 0 1 9 】

このような利得結合 D F B レーザの活性層の製造プロセスを図 6 (B) ~ (D) を参照して説明する。

【 0 0 2 0 】

図 6 (B) に示すように、バンドギャップの広いバリア層 7 3 (B) とバンドギャップの狭いウェル層 7 4 (W) とを交互に積層し、多重量子井戸構造 7 5 を形成する。この多重量子井戸構造 7 5 の表面上に、周期的構造を有するレジストマスク 8 0 を作成する。

【 0 0 2 1 】

図 6 (C) に示すように、レジストマスク 8 0 をエッチングマスクとして用い、多重量子井戸構造 7 5 を途中までエッチングする。エッチングは、中間のバリア層 7 3 (B) の位置で停止させる。その後レジストマスク 8 0 は除去する。

【 0 0 2 2 】

図 6 (D) に示すように、部分的にエッチングされて周期構造を有する多重量子井戸構造 7 5 の段差領域を埋め込むように、p 型ガイド層 7 6 を成長する。その後、メサエッチング、埋込層形成、クラッド層、コンタクト層の形成などを行なう

。このようにして、図6 (A) に示すような周期構造を有する多重量子井戸構造が形成される。

【0023】

利得結合DFBレーザにおいては、屈折率の高い活性層自体を加工する。このため、共振器方向に屈折率の変調と利得の変調が同時に存在する複素結合回折格子が形成される。このような複素結合DFBレーザでは、ブラッグ波長に対して長波側のモードでの発振が生じる。

【0024】

複素結合DFBレーザは、エッチングされた上部の井戸層Wが横方向からもキャリアの注入を受ける。このため、大きな利得結合係数が得られると共に、活性層の全ての井戸層をエッチングした構造に比べて屈折率結合係数を小さな値にとどめることができる。従って、上述の複素結合DFBの利点を大きく引き出すことができる。

【0025】

利得結合DFBレーザの基本的な構造、性能の解析に関しては、例えばA. Champagne et al "Global and Local Effects in Gain-Coupled Multiple-Quantum-Well DFB Lasers", IEEE J. Quantum Electron., vol. 30, pp1390-1401. 1999を参照されたい。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】

図6 (A) に示すような量子井戸活性層は、例えば厚さ5 nm程度のウェル層と、厚さ10 nm程度のバリア層との交互積層で形成されている。図6 (A) の構成においては、上から4番目のバリア層の途中でエッチングを停止している。

【0027】

しかしながら、厚さ10 nm程度のバリア層の途中で正確にエッチングを停止することは容易ではない。エッチレートของウエハ内分布やウエハ間分布の変動を考えると、エッチングされた井戸層数が同一ウエハ内およびウエハ間でばらつく

ことが生じ得る。井戸層数が増えると、利得結合成分と屈折率結合成分が変化する。従ってレーザ特性が素子間でばらつくことになる。

【 0 0 2 8 】

ドライエッチングで周期的構造を形成する場合、エッチングにより結晶欠陥が導入される。バリア層のエッチングが所望位置で停止せず、残るバリア層厚が薄くなりすぎたり、下のウェル層が露出してもなおエッチングを行なったりした場合、ウェル層に結晶欠陥が導入される。これらの結晶欠陥は非発光再結合中心の割合を増やし、レーザの発光効率の低下を招く。

【 0 0 2 9 】

本発明の目的は、特性のバラツキの少ない複素結合 DFB レーザを提供することである。

【 0 0 3 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明の 1 観点によれば、下部バリア層と、前記下部バリア層より狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とが交互に積層され、共振器方向に延在する下部量子井戸構造と；前記下部量子井戸構造上に配置され、前記下部ウェル層よりも広いバンドギャップと前記下部バリア層よりも厚い厚さとを有する中間層と；前記中間層の上に前記共振器方向に沿って周期的に配置され、上部ウェル層と、前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する上部バリア層とが交互に積層された上部量子井戸構造とを有する分布帰還型半導体レーザが提供される。

【 0 0 3 1 】

本発明の他の観点によれば、（a）半導体基板上に、下部バリア層と前記下部バリア層よりも狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とを交互に成長して下部量子井戸構造を形成する工程と；（b）最上の下部ウェル層の上に、下部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する中間層を下部バリア層より厚く成長する工程と；（c）前記中間層の上に上部ウェル層と前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有し、前記中間層よりも薄い厚さを有する上部バリア層とを交互に成長して上部量子井戸構造を形成する工程と；（d）前記上部量子井戸構造の上に周期的パターンを有する第 1 マスクを形成する工程と；（e）前記第 1 マス

クをエッチングマスクとして用い、前記中間層をストッパ層として前記上部量子井戸構造を周期的形状にエッチングする工程と；（f）前記第1マスクを除去する工程とを含む分布帰還型半導体レーザの製造方法が提供される。

【0032】

多重量子井戸構造を下部量子井戸構造と上部量子井戸構造とに分割し、その間にバリア層よりも厚い中間層を介在させる。このため、エッチングを中間層で停止することが容易になる。

【0033】

また、直下の活性層までの距離を十分保ってエッチングを停止することも容易になる。リアクティブイオンエッチング（RIE）によってエッチングを行なう場合も、ウェル層まで欠陥を届かせず、発光効率の低下を防止することが容易になる。

【0034】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の実施例によるメサ構造を有する分布帰還形半導体レーザの一部を切り欠いた斜視図である。1.5 μ m帯（1.55 μ m帯）の複素結合DFBレーザを作成する場合を例にとって説明する。n型不純物であるSiを 10^{18} cm⁻³程度含むn型InP基板1の表面上に、有機金属気相成長（MOVPE）法により、 5×10^{17} cm⁻³Siをドーピングしたn型InPバッファ層2を厚さ0.1 μ m程度成長した後、下側量子井戸活性層3を成長する。n型InPバッファ層2およびn型InP基板1は、n側クラッド層としても機能する。

【0035】

図2（A）に示すように、下側量子井戸活性層3は、例えば3層のバリア層Bと3層のウェル層Wとを交互に積層した構成を有する。バリア層Bは、例えば1.3 μ m組成、厚さ約10nm、無歪みのInGaAsP層で形成され、井戸層Wは1.55 μ m組成、厚さ約5nm、圧縮歪み約1%を有するInGaAsP層で形成される。なお、無歪みのウェル層を用いることもできる。ウェル層とバリア層の組成等のパラメータは、発振波長等の実験に基づいて、合わせこんでいくことが好ましい。

【 0 0 3 6 】

下部量子井戸活性層 3 の上に、例えば $1.3 \mu\text{m}$ 組成、厚さ 100 nm の InGaAsP 中間層 4 を成長する。中間層 4 は、バリア層としての働きを有するため、ウェル層 W より短波長の組成を有する必要がある。例えば、中間層 4 は、下部および上部量子井戸活性層 3、5 のバリア層と同一組成とする。但し、中間層の組成をバリア層の組成と同一にする必要はない。光明じ込め効果を促進するためには、中間層の組成はなるべく長波長組成を有することが望ましい。これらの観点からは、ウェル層が $1.55 \mu\text{m}$ 組成の場合、中間層の組成は、約 $1.2 \mu\text{m}$ ～ 約 $1.4 \mu\text{m}$ の組成範囲から条件に応じて選択することが望ましい。

【 0 0 3 7 】

中間層 4 の上に、上側量子井戸活性層 5 を形成する。上側量子井戸活性層も、例えば 3 層のウェル層 W と 3 層のバリア層 B とを交互に積層した構成を有する。ウェル層 W、バリア層 B の組成および厚さは、例えば下部量子井戸活性層のバリア層 B、ウェル層 W と同等である。以下、下部量子井戸活性層 3、中間層 4、上部量子井戸活性層 5 を、まとめて量子井戸活性層と呼ぶことがある。

【 0 0 3 8 】

図 2 (A) に示すように、上部量子井戸活性層 5 を成長した後、上部量子井戸活性層 5 の上にレジストマスク M1 を形成する。レジストマスク M1 は、2 光束干渉露光を行なった後、現像して作成する。2 光束の干渉により、規則的な繰り返しストライプパターンを有するレジストマスク M1 が形成される。ストライプのピッチが、回折格子の格子定数を定める。

【 0 0 3 9 】

図 2 (B) に示すように、レジストマスク M1 をエッチングマスクとして用い、メタンを含むエッチングガスを用いて、リアクティブイオンエッチング (RIE) を行なうことにより上部量子井戸活性層 5 を異方的にエッチングする。中間層 4 の途中でエッチングを停止させる。中間層 4 の半分までエッチングを行なう場合、エッチング時間は例えば 3 分 15 秒である。

【 0 0 4 0 】

中間層 4 は、バリア層 B と比べ十分大きい厚さを有するので、エッチングの停

止を確実に中間層の中程で行なうことができる。その後レジストマスクM1は除去する。上部量子井戸活性層5は、マスクM1にしたがって一定の格子定数で配置された周期的パターンとなり、回折格子を構成する。

【0041】

図2(C)に示すように、周期的にエッチングされた上部活性層5を埋め込むように、MOVPEによりp型ガイド層6を成長する。p型ガイド層は、例えば、 $1.1 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 組成、不純物(Zn)濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、活性層上の厚さ約 100nm のInGaAsP層で形成される。

【0042】

p型ガイド層6成長後、回折格子に垂直な面内方向にストライプ形状を有する SiO_2 層を形成し、この SiO_2 層をエッチングマスクとし、メタンを含むエッチングガスを用いたRIEにより、MQW活性層3, 4, 5が幅約 $1.2 \mu\text{m}$ 残るようにエッチングする。

【0043】

図1に示すメサ構造がこのようにして作成される。 SiO_2 層を残したまま、MOVPEにより2回の結晶成長を行ない、p型InP埋め込み層11, n型InP埋め込み層12を成長し、pn埋め込み構造の埋込ヘテロ(BH)レーザ構造を作成する。その後、 SiO_2 マスク層は除去する。

【0044】

さらに、p型InPクラッド層13, p^+ 型InGaAsコンタクト層14をMOVPEで成長する。コンタクト層14の上に、メサ構造に対応した開口部を有する SiO_2 層15を形成する。 SiO_2 層15および露出したコンタクト層14の上にp側電極20を形成する。p側電極は、例えばTi層、Pt層、Au層をこの順序で積層した3層積層電極である。

【0045】

また、基板1裏面には、n側電極19を形成する。n側電極19は、例えばAuGe層、Au層をこの順序で積層した2層積層電極である。その後、キャビティを形成するへき開を行なってレーザ構造を得る。キャビティの出射側端面には無反射膜、反対側の端面には高反射膜をコーティングする。

【 0 0 4 6 】

上記実施例の効果を確認するため、上記実施例により作成したレーザを有する例ウエハと、図 6 に示す製造方法により量子井戸活性層を作成した比較例ウエハを作成した。すなわち、比較例においては中間層が無く、代りに通常のバリア層が 1 層設けられている。各ウエハは、1 0 0 0 位のサンプル数を有する。

【 0 0 4 7 】

実施例によるウエハをへき開して加工深さの分布を調べたところ、ウエハのどの場所においても中間層は 1 0 0 n m の全厚さの内 4 0 ~ 6 0 n m の深さまでエッチングされていた。閾値電流とスロープ効率を調べたところ、以下の結果が得られた。

【 0 0 4 8 】

【表 1】

<u>例によるサンプル</u>		
	平 均	標準偏差
閾値電流	1 0 m A	0 . 6 m A
スロープ効率	0 . 4 0 m W / m A	0 . 0 1 m W / m A
<u>比較例によるサンプル</u>		
	平 均	標準偏差
閾値電流	1 0 m A	1 . 2 m A
スロープ効率	0 . 4 0 m W / m A	0 . 0 3 m W / m A

【 0 0 4 9 】

実施例による例と比較例とにおいて、閾値電流およびスロープ効率の平均値は同一であるが、比較例の標準偏差は、実施例による例の 2 倍および 3 倍になっている。すなわち、上述の実施例によれば、特性の揃った半導体レーザ素子を得ることができた。なお、上述の実施例の構成は制限的なものではない。例えば、中間層 4 の厚さは 1 0 0 n m よりも大きくても小さくてもよい。但し、中間層 4 はバリア層 B よりも厚くする必要がある。

【 0 0 5 0 】

なお、上述の実施例では、中間層とバリア層とを同一組成とした。上部活性層

を回折格子状にエッチングした後、回折格子は埋め込み層で埋め戻さなければならない。ガイド層で回折格子を埋め戻し、その上にクラッド層を形成する場合、通常ガイド層はバリア層の屈折率とクラッド層の屈折率との中間の屈折率を持つようにする。

【 0 0 5 1 】

この観点からは、埋め込みガイド層は、中間層の組成よりも高屈折率（短波長組成）ではないように選択することが好ましい。例えば、中間層が $1.2\ \mu\text{m}$ から $1.4\ \mu\text{m}$ 組成の場合、埋め込みガイド層を $1.1\ \mu\text{m}$ ～ $1.3\ \mu\text{m}$ 組成に選択する。

【 0 0 5 2 】

なお、ガイド層を用いずに回折格子を直接クラッド層で埋め戻してもよい。図 1 の構成においては、ガイド層 6 をクラッド層 13 と同一の InP で形成すればよい。層 6 と層 13 をまとめてクラッド層と呼ぶ。そこで、回折格子を埋め戻す層を埋め込み層と呼ぶこともある。中間層を一部エッチングした後、埋め込み層で埋めもどす。中間層と埋め込み層との間に界面が形成される。例えば、回折格子を埋め込む埋め込み層は、バリア層（および中間層）よりも屈折率の低い（バンドギャップの広い）半導体層で形成する。中間層と埋め込み層との屈折率が異なると、それらの間には屈折率界面が形成される。

【 0 0 5 3 】

中間層のエッチング深さを深くするに従って、屈折率結合係数が大きくなる。エッチング深さにバラツキがあると、屈折率結合係数がバラツクことになる。レーザー素子の閾値電流、スロープ効率も変動する。

【 0 0 5 4 】

この観点からは、中間層はバリア層とは異なる機能を有する。従って、中間層の組成の選択はバリア層の組成の選択とは別個に行なうことが好ましい。中間層の屈折率をバリア層の屈折率よりも小さく（中間層の組成をバリア層の組成よりも短波長に）選択すれば、中間層と埋め込み層との屈折率の差を小さく、従って屈折率結合係数を小さくすることが容易になる。この場合、屈折率の大小関係は、バリア層 > 中間層 > 埋め込み層となる。

【 0 0 5 5 】

さらに、埋め込み層が、中間層と同一屈折率を有するようにすれば、埋め込み層と中間層との間に屈折率界面は形成されない。エッチング深さがバラツいても屈折率結合係数は影響を受けない。例えば上述の実施例において、ウェル層が厚さ 5 nm、無歪み、1.55 μ m 組成、バリア層が厚さ 10 nm、1.2 μ m 組成とした場合、中間層を厚さ 100 nm、1.1 μ m 組成の InGaAsP 層で形成し、ノンドープ、1.1 μ m 組成の InGaAsP ガイド層で埋め込む。

【 0 0 5 6 】

バリア層と中間層および埋め込み層の屈折率（組成）は、上述の例に限らない。例えば、バリア層、中間層、埋め込み層を全て 1.3 μ m 組成の InGaAsP としてもよい。ガイド層は、必ずしも必要ではなく、クラッド層で回折格子を埋め込んでもよい。たとえば、中間層を InP で形成し、InP クラッド層で埋め込んでもよい。

【 0 0 5 7 】

中間層がエッチングされた後、中間層と同一の半導体で埋め込むため、エッチング深さのばらつきは埋め込み層によって解消される。エッチング深さがばらついても、レーザ素子の特性に差は生じない。なお、同一屈折率でなくても、0.01 以下の屈折率差であれば、ほぼ同様の効果が期待できる。このような屈折率をほぼ同一の屈折率と呼ぶ。

【 0 0 5 8 】

図 3 (A)、(B) は、中間層 4 の厚さの影響を示す概略断面図である。中間層を厚くしすぎると、光の横高次モードが発生しやすくなる。図 3 (A) に示すように、中間層 4 の厚さがある程度以下であれば、量子井戸活性層全体として光電界分布は滑らかな単一のピークを有する単峰性形状となる。

【 0 0 5 9 】

図 3 (B) に示すように、中間層 4 の厚さを厚くし過ぎると、光電界分布が下部量子井戸活性層 3 に基づくピークと、上部量子井戸活性層 5 に基づくピークとに分離し、双峰性を有するようになる。光電界分布が単峰性を維持するためには、中間層 4 の厚さを 300 nm 以下にすることが好ましい。

【0060】

メサ型構造を有するDFBレーザを説明したが、他の構造のDFBレーザを作成することもできる。

【0061】

図4は、リッジ型DFBレーザの構成例を示す。n型InP基板1の上に、n型InPバッファ層2を成長した後、下部量子井戸活性層3、中間層4、上部量子井戸活性層5を成長する。

【0062】

上部量子井戸活性層5の上に周期的回折格子パターンのマスクを形成し、上部量子井戸活性層5を異方的にエッチングし、中間層4の中程でエッチングを停止する。エッチングされた上部量子井戸活性層5を埋め込むように、ガイド層6を作成する。ここまでの製造工程は、図1の場合と同様である。量子井戸活性層、ガイド層の組成、条件は上述の実施例の場合と同様である。

【0063】

ガイド層6の上に、p側クラッド層7、p側コンタクト層14を成長する。p側クラッド層7は、例えばp型InP層で形成する。コンタクト層14は、例えば p^+ 型InGaAsで形成する。コンタクト層14まで成長した後、ストライプ状のマスクをコンタクト層14上に形成し、RIEによりコンタクト層14、クラッド層7を異方的にエッチングする。

【0064】

ストライプの外側において、コンタクト層14の全厚およびクラッド層7の厚さの一部が除去されるため、屈折率分布が変化し、残ったリッジ型構造に光閉じ込め効果が生じる。

【0065】

リッジ上面の電極接触部分に開口を有する SiO_2 層15を形成した後、p側電極20を作成する。また、基板1裏面には、n側電極19を作成する。各電極は、図1の場合と同様の材料により形成することができる。ウエハをキャビティにへき開してリッジ型DFBレーザを得る。

【0066】

なお、ガイド層は省略してもよい。n型基板を用い、下部にn型領域、上部にp型領域を有するレーザを作成する場合を説明したが、p型基板を用い、下部にp型領域、上部にn型領域を有するレーザを作成することもできる。1.55 μ m帯の半導体レーザを作製する場合を説明したが、他の波長の半導体レーザを作製してもよい。たとえば、1.3 μ m帯のレーザを作る場合は、基板としてInP、ウェル層として1.3 μ m組成のInGaAsP、バリア層として1.0～1.15 μ m組成のInGaAsPを用いればよい。

【0067】

その他種々の変更、改良、組み合わせが可能なことは当業者に白明であろう。

【0068】

なお、本発明の特徴を以下に記載する。

【0069】

(付記1) 下部バリア層と、前記下部バリア層より狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とが交互に積層され、共振器方向に延在する下部量子井戸構造と；

前記下部量子井戸構造上に配置され、前記下部ウェル層よりも広いバンドギャップと前記下部バリア層よりも厚い厚さとを有する中間層と；

前記中間層の上に前記共振器方向に沿って周期的に配置され、上部ウェル層と、前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する上部バリア層とが交互に積層された上部量子井戸構造とを有する分布帰還型半導体レーザ。

【0070】

(付記2) さらに、前記共振器方向に沿って前記上部量子井戸構造を覆って前記中間層上に配置され、前記下部および上部ウェル層より広いバンドギャップを有する回折格子埋め込み層を有する付記1記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0071】

(付記3) 前記中間層は、前記上部量子井戸構造と同一周期、同一位相の表面段差を有する付記2記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0072】

(付記 4) 前記回折格子埋め込み層は、前記中間層よりも高くない屈折率を有する付記 2 または 3 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 3 】

(付記 5) 前記回折格子埋め込み層は、前記中間層よりも低い屈折率を有する付記 4 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 4 】

(付記 6) 前記中間層の屈折率は、下部バリア層の屈折率よりも低い付記 4 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 5 】

(付記 7) 前記中間層の屈折率は、上部及び下部バリア層の屈折率と、埋め込み層の屈折率との中間の屈折率を有する付記 4 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 6 】

(付記 8) 前記中間層は、前記上部多重量子井戸構造下で 3 0 0 n m 以下の厚さを有する付記 1 ～ 3 のいずれかに記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 7 】

(付記 9) 前記中間層と前記回折格子埋め込み層とがほぼ同一の屈折率を有する付記 4 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 8 】

(付記 1 0) さらに、前記下部量子井戸構造を支持する I n P 基板を有し

前記下部および上部ウェル層が、1. 5 μ m 帯の組成を有する I n G a A s P で形成され、前記下部および上部バリア層がより短波長組成の I n G a A s P で形成されている付記 1 ～ 4 のいずれかに記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 7 9 】

(付記 1 1) 前記下部および上部バリア層が1. 2 μ m 帯から1. 4 μ m 帯までの組成の I n G a A s P で形成されている付記 1 0 記載の分布帰還型半導体レーザ。

【 0 0 8 0 】

(付記12) 前記中間層が1.2 μm 帯から1.4 μm 帯までの組成のInGaAsPで形成されている付記10記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0081】

(付記13) 前記回折格子埋め込み層が、InGaAsPまたはInPで形成されている付記10記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0082】

(付記14) 前記回折格子埋め込み層がInGaAsPで形成され、さらに、

前記回折格子埋め込み層の上に形成されたInPクラッド層を有する付記7記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0083】

(付記15) 前記上部量子井戸構造、中間層、および下部量子井戸構造がストライプ状に成形され、前記分布帰還形半導体レーザがメサ型又はリッジ型のレーザを構成する付記10-14のいずれか1項に記載の分布帰還型半導体レーザ。

【0084】

(付記16) (a) 半導体基板上に、下部バリア層と前記下部バリア層よりも狭いバンドギャップを有する下部ウェル層とを交互に成長して下部量子井戸構造を形成する工程と；

(b) 最上の下部ウェル層の上に、下部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する中間層を下部バリア層より厚く成長する工程と；

(c) 前記中間層の上に上部ウェル層と前記上部ウェル層よりも広いバンドギャップを有し、前記中間層よりも薄い厚さを有する上部バリア層とを交互に成長して上部量子井戸構造を形成する工程と；

(d) 前記上部量子井戸構造の上に周期的パターンを有するマスクを形成する工程と；

(e) 前記マスクをエッチングマスクとして用い、前記中間層をエッチングマージン層として前記上部量子井戸構造を周期的形状にエッチングする工程と；

(f) 前記マスクを除去する工程と

を含む分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【 0 0 8 5 】

(付記 1 7) さらに、(g) 前記工程 (f) の後、エッチングされた上部量子井戸構造を覆うように、中間層上に前記上部および下部ウェル層より広いバンドギャップを有する回折格子埋め込み層を成長する工程；

を含む付記 1 6 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【 0 0 8 6 】

(付記 1 8) さらに、(h) 前記工程 (g) の後、前記回折格子埋め込み層上にクラッド層を成長する工程；

を含む付記 1 7 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【 0 0 8 7 】

(付記 1 9) さらに、(i) 前記回折格子埋め込み層上に前記周期的パターンを横断する方向に延在するストライプ形状のハードマスクを形成する工程と；

(j) 前記ハードマスクから露出された前記回折格子埋め込み層、前記上部量子井戸構造、前記中間層、前記下部量子井戸構造をエッチングしてメサ構造を形成する工程と；

(k) エッチングされたメサ構造の側面を埋め込むメサ埋込層を成長する工程と；

(1) 前記ハードマスクを除去する工程と

を含む付記 1 7 または 1 8 記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【 0 0 8 8 】

(付記 2 0) 前記周期的パターンを有するマスクはホトレジスト層を 2 光束干渉露光、現像によって形成し、前記メサ構造を形成する工程はリアクティブイオンエッチングで行なう付記 1 6 ～ 1 9 のいずれか 1 項に記載の分布帰還型半導体レーザの製造方法。

【 0 0 8 9 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、特性のバラツキの少ない複素結合 D F

Bレーザを得ることができる。

【0090】

複素結合DFBレーザの製造が容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例によるメサ構造を有する複素結合DFBレーザの構成を概略的に示す一部切り欠き斜視図である。

【図2】 本発明の実施例による量子井戸回折格子の作成方法を示す断面図である。

【図3】 中間層の厚さの影響を説明する断面図である。

【図4】 本発明の他の実施例によるリッジ構造を有する複素結合DFBレーザの構成を概略的に示す一部切り欠き斜視図である。

【図5】 従来の技術による屈折率結合DFBレーザの構成を示す一部切り欠き斜視図および断面図である。

【図6】 従来の技術による複素結合DFBレーザの量子井戸活性層の作成方法を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3 下部量子井戸活性層
- 4 中間層
- 5 上部量子井戸活性層
- 6 ガイド層
- 7 クラッド層
- 11, 12 埋め込み層
- 13 クラッド層
- 14 コンタクト層
- 15 SiO₂層
- 19 n側電極
- 20 p側電極

特 2 0 0 1 - 0 1 2 1 2 6

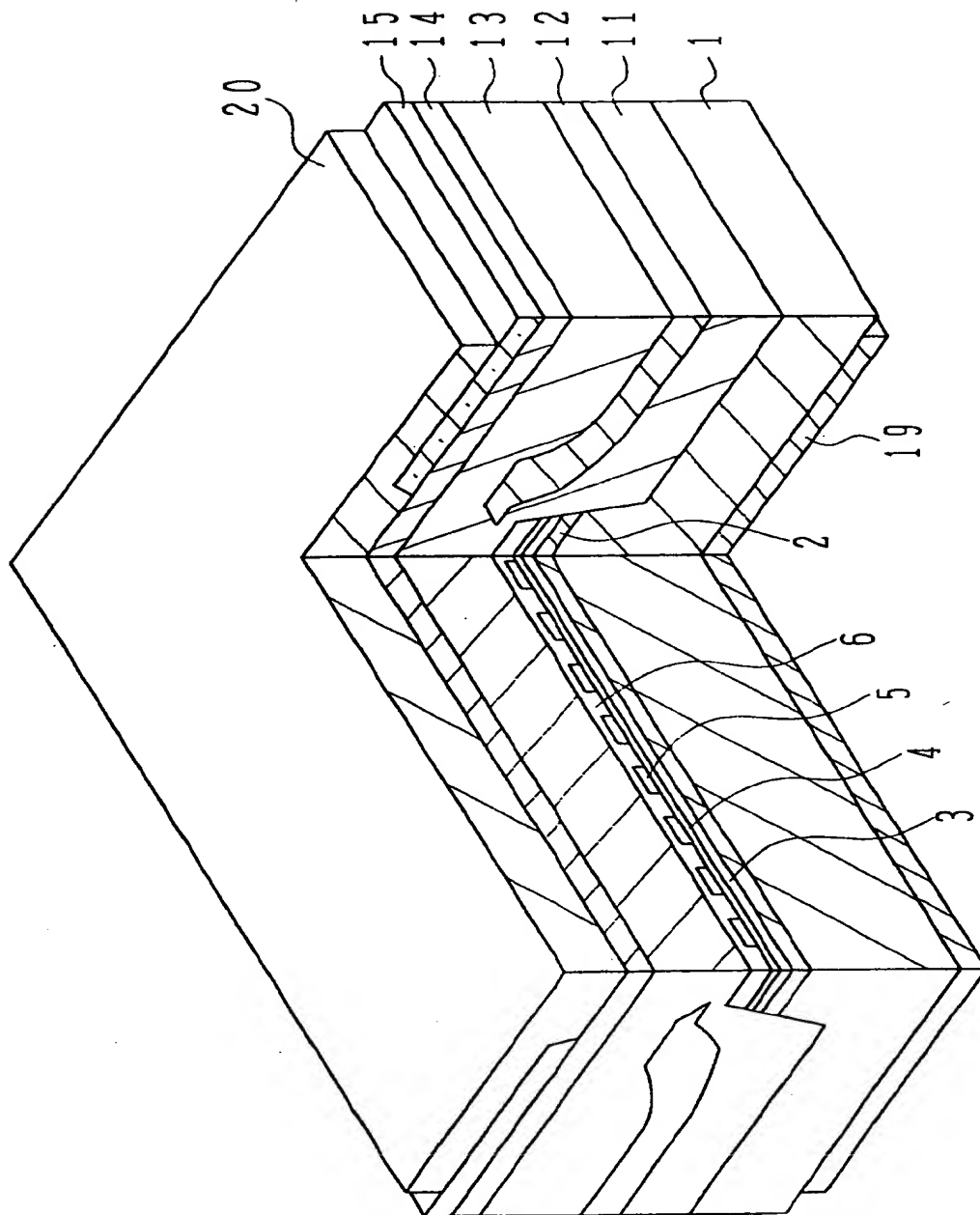
B バリア層

W ウェル層

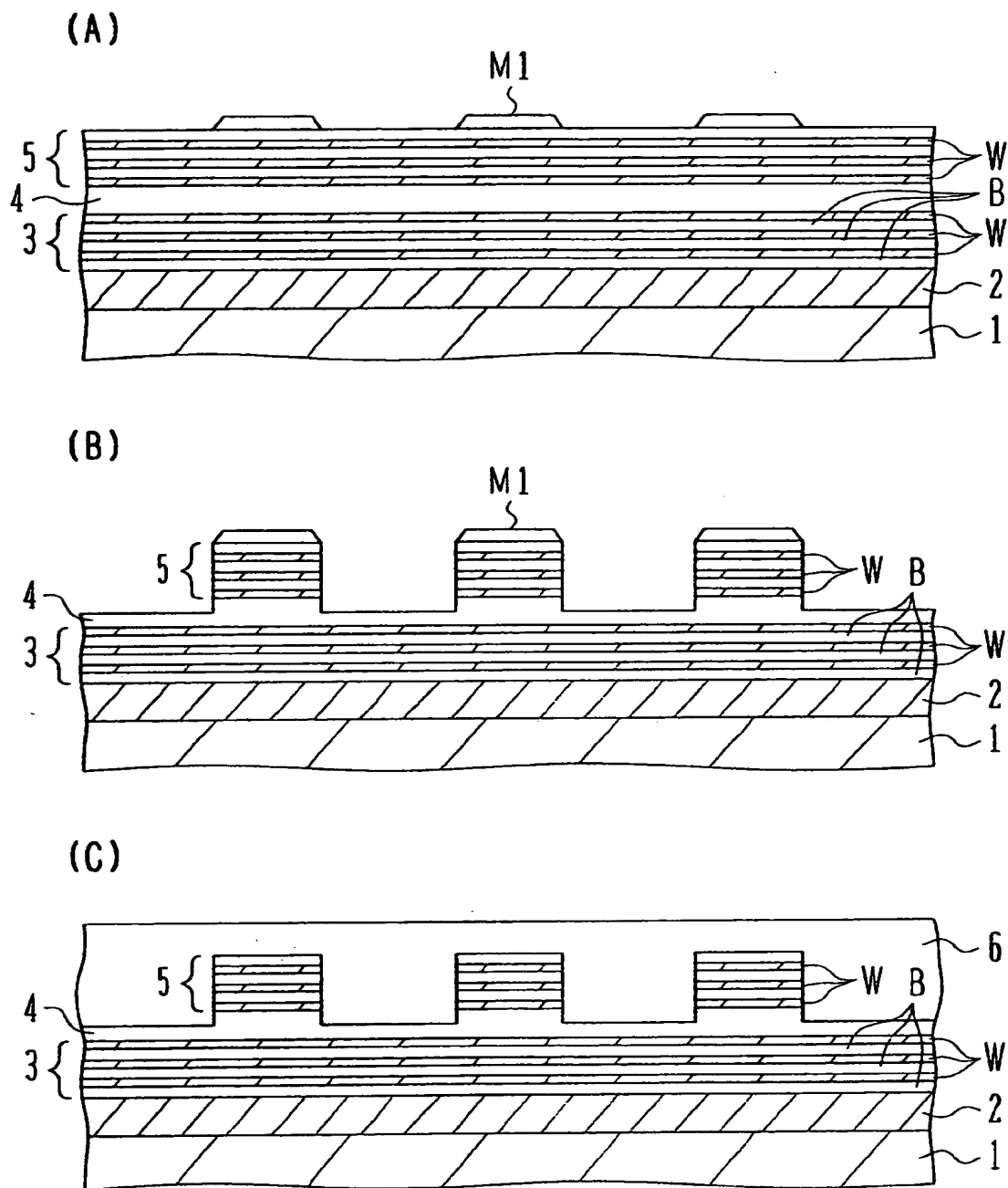
【書類名】

図面

【図1】

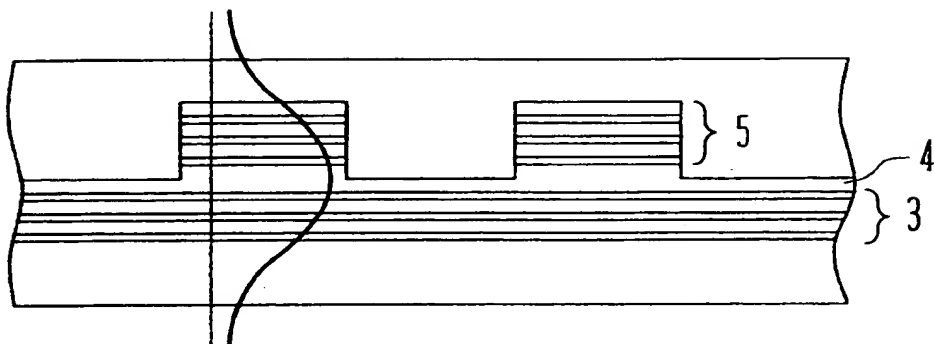


【図 2】

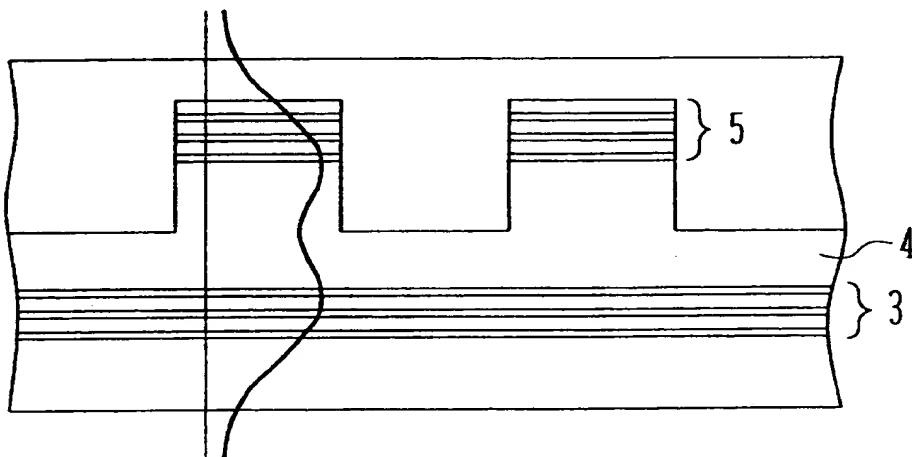


【図 3】

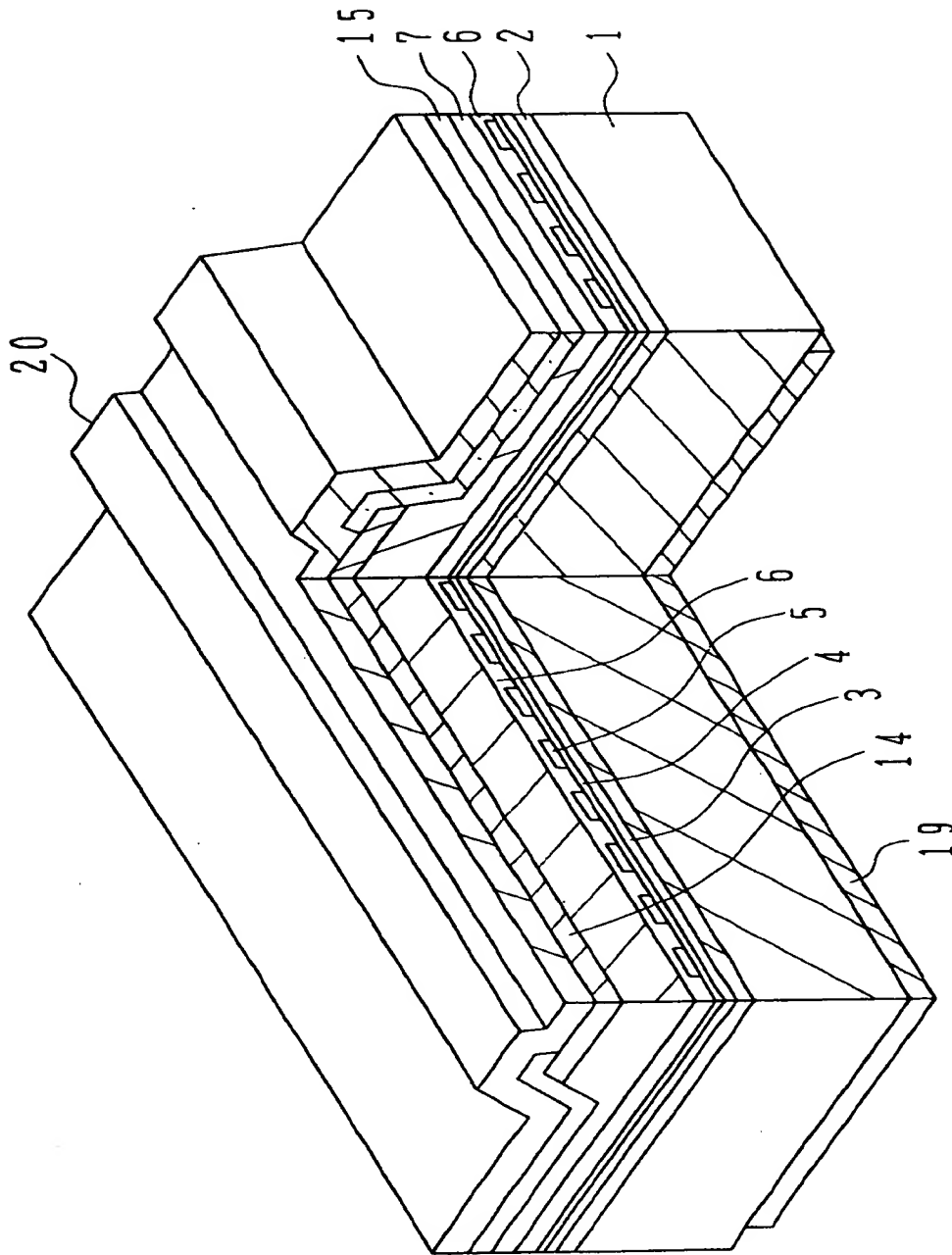
(A)



(B)

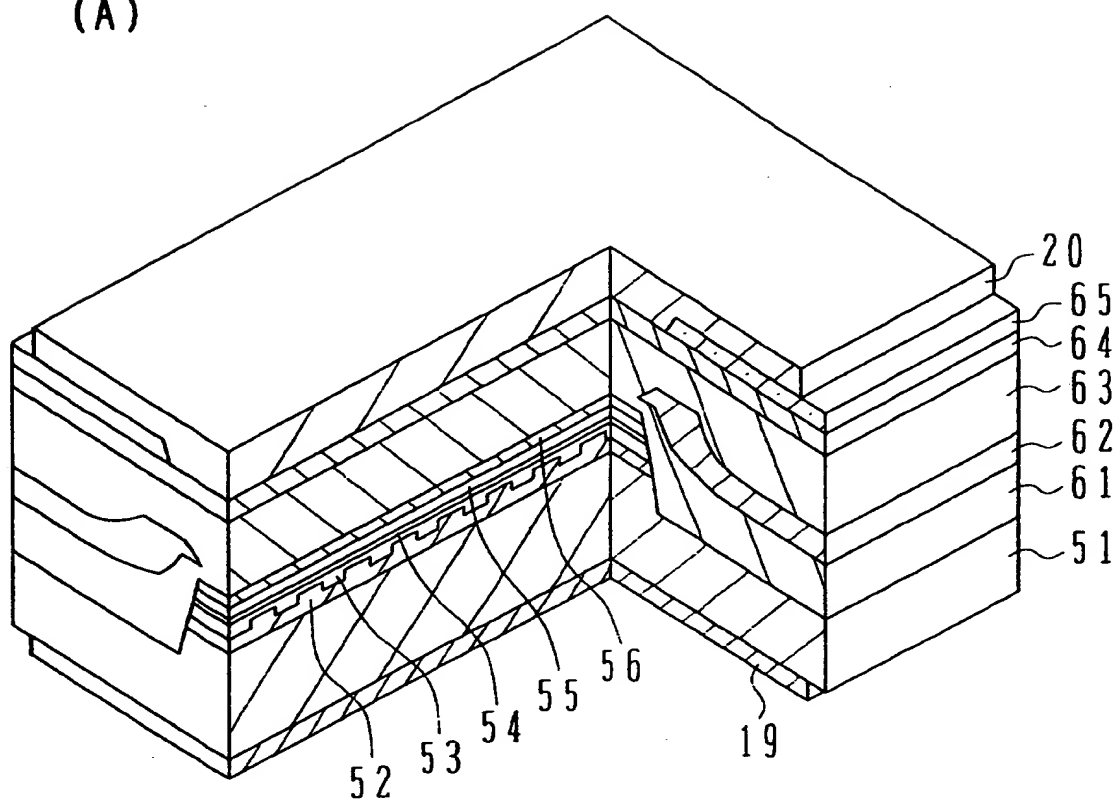


【図4】

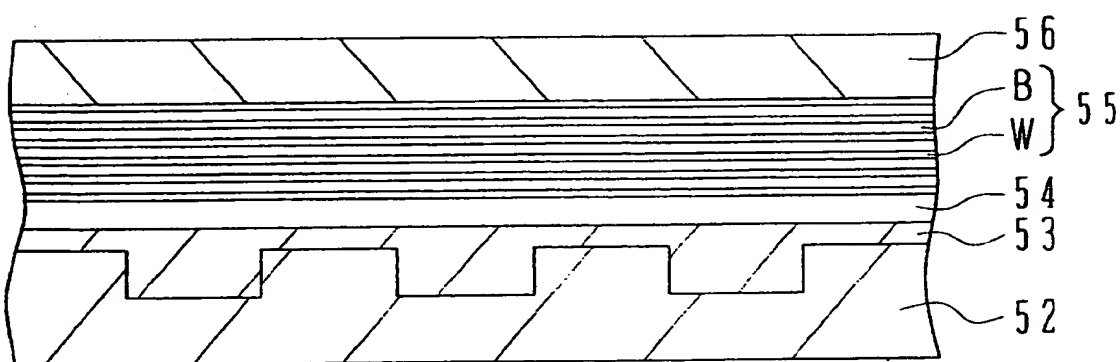


【図 5】

(A)

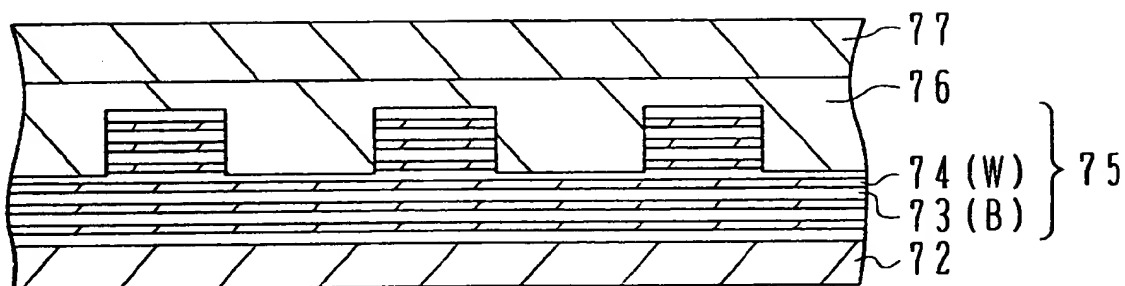


(B)

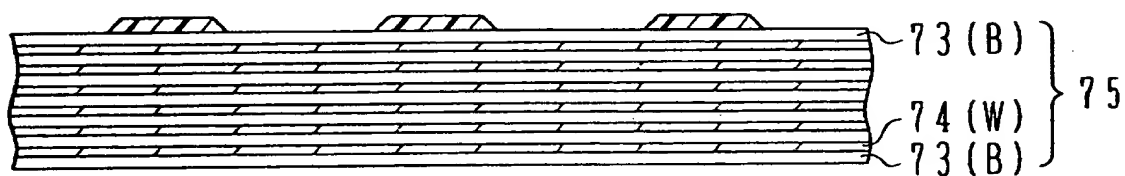


【図6】

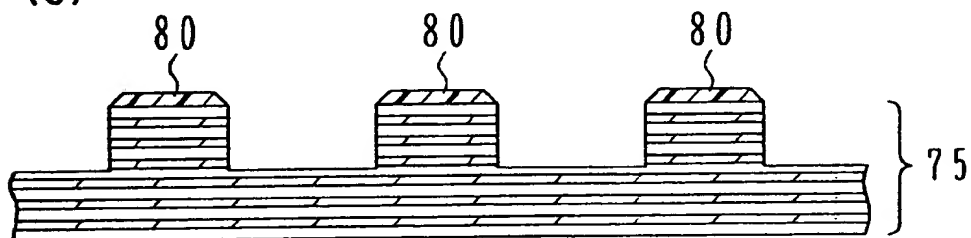
(A)



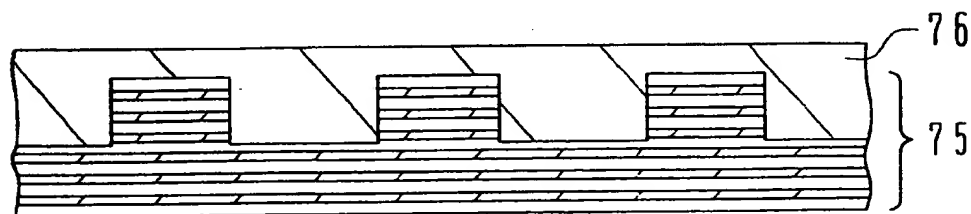
(B)



(C)



(D)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特性のバラツキの少ない複素結合 DFB レーザを提供する。

【解決手段】 分布帰還型半導体レーザの製造方法は、半導体基板上に下部バリア層と下部ウェル層とを交互に成長して下部量子井戸構造を形成する工程と；最上の下部ウェル層の上に、下部ウェル層よりも広いバンドギャップを有する中間層を下部バリア層より厚く成長する工程と；前記中間層の上に上部ウェル層と上部バリア層とを交互に成長して上部量子井戸構造を形成する工程と；前記上部量子井戸構造の上に周期的パターンを有するマスクを成長する工程と；前記マスクをエッチングマスクとして用い、前記中間層をエッチングマージン層として前記上部多重量子井戸構造を周期的形状にエッチングする工程と；前記マスクを除去する工程とを含む。

【選択図】 図

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社